中国荒漠生态系统：功能提升、服务增效

程磊磊[1*] 郤晓娥[1] 杨 柳[1] 姚雪玲[1] 卢 琦[1,2*]

1 中国林业科学研究院荒漠化研究所 北京 100091

2 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心 巴彦淖尔 015200

摘要 荒漠是我国干旱、半干旱地区的典型原生生态系统，具有独特的结构、功能与服务。文章基于《荒漠生态系统服务评估规范》，利用第五次全国荒漠化和沙化监测数据（2010—2014年），首次估算出2014年我国荒漠生态系统服务总价值约为42 279亿元人民币（2014年价格）；其中，防风固沙、水文调控、土壤保育和固碳价值分别占比40.1%、24.2%、18.1%和17.0%，生物多样性保育和景观游憩所占比重合计不到1%。剔除价格因素影响，2009—2014年我国荒漠生态系统服务价值实际净增1 202亿元人民币（2014年价格），其中防风固沙服务效益提升的贡献最大（达47.5%）。文章探索以荒漠生态系统服务价值与国内生产总值（GDP）的比值来衡量生态保护与经济增长的发展均衡度，2009—2014年该比值在荒漠生态系统涉及的所有地区均有下降，各地区降幅从19.4%到38.8%不等，这表明当前荒漠生态系统功能提升与服务增效的速度慢于区域经济增速。因此，在发展经济的同时需要加大荒漠生态系统的保护与修复力度，以促进我国西北干旱半干旱地区尽快步入荒漠生态系统提质增效与经济增长高度均衡的发展阶段。

关键词 荒漠，生态系统，生态服务，功能评估，价值核算，提质增效

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20200430001

荒漠生态系统是陆地生态系统的重要组成部分。我国荒漠生态系统主要分布在西北干旱半干旱地区，是西北地区的代表性生态系统。该地区生态环境最为脆弱，贫困人口最为集中，而且是沙尘暴的尘源区和主要发生地。荒漠生态系统具有独特的结构和功能[1]，在防风固沙、水文调控、土壤保育及生物多样

*通讯作者

资助项目：国家重点研发计划（2017YFC050670203），中国科学院野外站联盟课题（KFJ-SW-YW037-02），中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金（CAFYBB2019ZD002），国家林业局软科学研究项目（2016-RR-16），林业科学技术研究项目（2019132701）

修改稿收到日期：2020年5月27日

性保育等方面提供着重要的生态服务，同时在固碳和生物地球化学循环方面也发挥着不可替代的作用[2]。这些生态服务不仅为生活在荒漠地区的人们提供着基本的赖以生存和发展的物质基础，也为实现社会稳定、经济发展和区域乃至全球的生态安全提供重要保障。在当前人口数量持续增加、食物需求不断增长与极端气候事件频发的复杂背景下，开展荒漠生态系统功能评估与服务价值核算具有重要意义：既有助于增进人们对荒漠生态系统与人类福祉之间关系的认知，也有助于定量评价荒漠生态系统的提质增效成果，从而为荒漠生态系统服务的使用者和管理者进行决策提供科学依据，以全面提升荒漠生态系统管理水平，实现荒漠地区的可持续发展。

生态系统服务是指人们从生态系统获取的各种惠益[3,4]。1997 年 Costanza 等[3]首次评估了全球生态系统服务的价值，同年 Daily[5]从社会对生态系统的依赖角度阐述了生态系统服务，这些研究激发了学者们对生态系统服务研究的浓厚兴趣。2005 年联合国《千年生态系统评估报告》构建了生态系统评估的基本框架，把生态系统服务划分为供给服务、调节服务、支持服务与文化服务 4 大类[4]。此后生态系统服务研究迅速成为生态学、经济学等领域的研究热点[6]。国内外学者在不同尺度上评估了森林、湿地、草地等陆地生态系统的服务价值[7-12]。但是，这些研究很少从全国、区域或全球尺度上评估荒漠生态系统的功能与服务[13]。Costanza 等[14]于 2014 年再次估算全球生态系统服务价值时，也未能把荒漠生态系统包括在内。

中国林业科学研究院荒漠化研究所及其合作者近几年的相关研究[2,15-17]填补了生态系统服务研究在荒漠生态系统领域上的空白，初步构建了荒漠生态系统功能与服务评估体系，利用第四次全国荒漠化和沙化监测数据（2005—2009 年）及荒漠生态站长期连续观测数据，核算了 2009 年全国荒漠生态系统功能实物量与服务价值量。本文将在这些研究的基础上，参照国家林业行业标准《荒漠生态系统服务评估规范》，利用第五次全国荒漠化和沙化监测数据（2010—2014 年），更新全国荒漠生态系统功能评估与服务价值核算结果，定量评价 2009—2014 年我国荒漠生态系统功能提升与服务增效成果，并从省级地区水平上剖析荒漠生态系统提质增效与经济增长的权衡关系，以期为荒漠生态系统质量的整体改善和生态产品供给能力的全面增强提供对策建议。

1 荒漠生态系统及其服务

荒漠生态系统是干旱半干旱地区的代表性生态系统类型。荒漠生态系统（desert ecosystem）是指由旱生、超旱生的小乔木、灌木、半灌木和小半灌木及与其相适应的动物和微生物等构成的群落，与其生境共同形成物质循环和能量流动的动态系统[2]。通常可将荒漠生态系统大致分为沙漠、沙地和戈壁 3 种类型。据初步估算，我国荒漠生态系统面积约为 1.65×10^6 km^2，占到全国国土总面积的 17%，涵盖八大沙漠、四大沙地与广袤戈壁[2]，主要分布在新疆、内蒙古、甘肃、西藏等 12 省份（图 1）。荒漠生态系统的典型特点是降水稀少、气候干燥、风大沙多、温差大、植被稀疏，而这些特点决定了荒漠生态系统具有不同于森林、湿地等生态系统的独特结构和功能。荒漠生态系统服务（desert ecosystem services）是指人们从荒漠生态系统获得的各种惠益，主要包括防风固沙、土壤保育、水文调控、固碳、生物多样性保育、景观游憩等 6 类[15]。

防风固沙是荒漠生态系统提供的最为重要的服务。荒漠植被看似稀疏，却能够显著地降低风沙流动，从而减少生产与生活方面的风沙损害。荒漠生态系统的土壤保育主要表现在 2 个方面：① 沙尘搬运后形成有利于生物生存和发展的土壤，即土壤形成；② 荒漠植被在固定土壤的同时，保留了土壤中的氮、磷和有机质等营养物质，减少土壤养分损失。水文调控

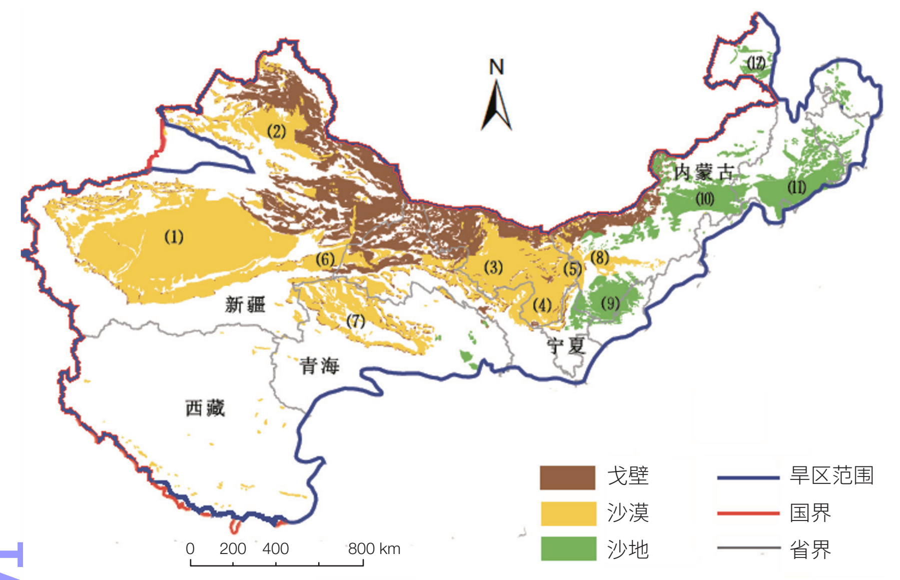


图 1　荒漠生态系统中国分布示意图[2]

（1）塔克拉玛干沙漠；（2）古尔班通古特沙漠；（3）巴丹吉林沙漠；（4）腾格里沙漠；（5）乌兰布和沙漠；（6）库姆塔格沙漠；（7）柴达木盆地沙漠；（8）库布齐沙漠；（9）毛乌素沙地；（10）浑善达克沙地；（11）科尔沁沙地；（12）呼伦贝尔沙地

是指通过荒漠植被和土壤等影响水分分配、消耗和水平衡等水文过程，主要体现在淡水提供、水源涵养和气候调节 3 个方面[18]。水汽在荒漠生态系统的地表、土壤空隙、植物枝叶和动物体表上遇冷凝结成水，是荒漠地区浅层淡水的主要来源；荒漠生态系统面积巨大，土壤渗透性好，能把大气降水和地表径流加工成洁净的水源，汇聚成储量丰富的地下水库[19]。广袤荒漠上的植物通过光合作用固碳，并再分配形成总量可观的植被碳库和土壤碳库。我国荒漠生态系统地域宽广，拥有独特且多样的物种和基因资源，为许多珍稀物种提供了生存与繁衍的场所；形成了沙漠胡杨林、鸣沙山、月亮湖、魔鬼城、海市蜃楼等独特的自然景观，还存留了敦煌莫高窟、楼兰遗址、高昌古城等人文历史景观，吸引人们观光旅游、休闲度假、科学考察、探险等。这些生态服务都直接或间接地增加了人们的福祉。

2 我国荒漠生态系统服务价值变化

本文将基于国家林业行业标准《荒漠生态系统服务评估规范》（LY/T2006-2012），采用卢琦[2]评估荒漠生态系统功能与服务的实物参数与价值参数，利用第五次全国荒漠化与沙化监测数据（2010—2014 年），初步核算 2014 年我国荒漠生态系统在防风固沙、土壤保育、水文调控、固碳、生物多样性保育、景观游憩等方面的生态服务价值，并且采用国内生产总值（GDP）减缩指数对生态服务价值进行调整，以剔除价格因素的影响，使 2009 年与 2014 年两次价值评估结果具有可比性。

我国荒漠生态系统主要分布在 12 个省份，具体分别是新疆、内蒙古、甘肃、西藏、青海、宁夏、陕西、河北、山西、辽宁、吉林和黑龙江。本文采用自下而上的核算方法，首先估算各地区荒漠生态系统服务的实物量与价值，然后汇总得到全国荒漠生态系统服务评估结果。全国及各地区 GDP、人均 GDP 等经济数据来源于历年《中国统计年鉴》。

2014 年全国荒漠生态系统产生的生态服务价值为 42 278.58 亿元人民币，约占当年全国 GDP 的 6.6%。从生态服务类型来看，防风固沙是荒漠生态系统提供的最为重要的生态服务，其价值占到总价值的 40.1%，全年固沙量达到 3.91×10^{10} t；其次是水文调控，占到总价值的 24.2%，在淡水提供、水源涵养和气候调节方面的价值共为 10 236.04 亿元人民币；土壤保育和固碳的价值相当，分别占到 18.1% 和 17.0%，全年约形成新土 1.51×10^{10} m^3，保育 1.45×10^8 t 土壤有机质、1.37×10^7 t 土壤氮和 1.56×10^7 t 土壤磷，全年植被固碳 7.18×10^8 t、土壤固碳 3.0×10^7 t；生物多样性和景观游憩价值相对很低，两者之和不到总价值的 1%（表 1）。从地区来看，我国荒漠生态系统大部分位于内蒙古和新疆，

分别提供了34.4%和29.7%的生态服务价值；其次是甘肃和西藏，提供的生态服务价值分别占到总价值的12.6%和12.4%；其余8个省份提供的生态服务价值不到总价值的11%。

荒漠生态系统服务价值的变化受价格因素的影响很大。2009—2014年，全国荒漠生态系统服务价值从30 840.43亿元人民币（2009年价格）增加到42 278.58亿元人民币（2014年价格），增加了11 438.16亿元人民币；但是，其中有10 450.34亿元人民币（表2第6行）是由于价格水平上涨了32.8%造成的。剔除价格上涨的影响后，按照2009年价格水平来换算，2014年全国荒漠生态系统价值为31 828.24亿元人民币（表2第4行），5年间实际上仅增加了987.81亿元人民币（表2第5行）或3.2%，这部分增加是源于荒漠生态系统生态服务的实物量增加。另一方面，2009—2014年全国实际GDP则大幅增加了51%。由于荒漠生态系统质量提升的速度显著慢于经济增长的速度，荒漠生态系统服务价值占全国GDP的比重从9.1%下降到6.6%。

荒漠生态系统提质增效主要体现在防风固沙、水文调控和土壤保育3个方面。2009—2014年荒漠生态系统服务的实际价值增加了987.81亿元人民币

表1　2014年中国荒漠生态系统服务价值（单位：亿元人民币）

	防风固沙	土壤保育	水文调控	固 碳	生物多样性保育	景观游憩	合 计
内蒙古	5 503.80	2 362.23	4 630.56	1 992.26	19.31	19.88	14 528.03
新疆	4 201.94	3 114.84	2 213.29	2 888.79	102.90	35.81	12 557.57
甘肃	3 144.40	1 056.55	640.04	488.79	8.41	5.83	5 344.03
西藏	3 265.57	358.97	771.41	814.75	22.27	10.36	5 243.34
河北	145.21	645.98	185.22	152.48	0.59	1.02	1 130.49
青海	100.82	23.85	153.35	559.99	22.75	5.99	866.75
陕西	213.64	21.77	374.45	74.19	1.24	0.65	685.94
宁夏	213.26	26.38	249.14	60.93	1.33	0.56	551.59
吉林	29.27	5.35	293.96	50.51	0.63	0.34	380.06
黑龙江	11.07	4.42	308.57	35.69	1.01	0.24	361.01
辽宁	34.39	4.19	246.08	39.38	0.41	0.26	324.71
山西	88.20	10.33	169.97	35.39	0.89	0.28	305.06
全 国	1 6951.56	7 634.84	10 236.04	7 193.15	181.76	81.22	42 278.58

表2　2009—2014年中国荒漠生态系统服务价值变化（单位：亿元人民币）

	防风固沙	土壤保育	水文调控	固 碳	生物多样性保育	景观游憩	合 计
2009年价值（2009年价格）	12 291.95	5 570.77	7 445.33	5 338.49	134.81	59.08	30 840.43
2014年价值（2014年价格）	16 951.56	7 634.84	10 236.04	7 193.15	181.76	81.22	42 278.58
2014年价值（2009年价格）	12 761.51	5 747.68	7 705.92	5 415.16	136.83	61.15	31 828.24
实际价值变化（2009年价格）	469.56	176.91	260.59	76.67	2.02	2.07	987.81
价格上涨导致的价值变化	4 190.06	1 887.17	2 530.13	1 777.99	44.93	20.08	10 450.34

（2009 年价格）或 1 202.37 亿元人民币（2014 年价格），其中 47.5% 来自防风固沙服务效益的提升，全国荒漠生态系统的年固沙量增加了 1.23×10^9 t，特别是内蒙古 5 年间年固沙量增加了近 9×10^8 t；有 26.4% 来自水文调控服务效益的提升；有 17.9%来自土壤保育服务效益的提升，这是土壤保育和新土壤形成两方面生态服务权衡的结果。具体来看，在保育土壤养分方面增加了 190.91 亿元人民币，但是在形成新土壤方面则减少了 14.00 亿元人民币。此外，5 年间荒漠生态系统的固碳服务效益略有提升，全国荒漠生态系统的年固碳量增加了 6.1×10^7 t，贡献了生态服务总价值提升的 7.8%。分地区来看，荒漠生态系统服务价值的增加主要发生在甘肃、内蒙古、西藏和新疆 4 个省份。

3 荒漠生态系统服务与经济增长

荒漠生态系统是荒漠生态资产的重要组成部分[17]，是一个存量概念；防风固沙、水文调控等生态服务则是由荒漠生态系统这种资产存量所提供的服务流，是一个流量概念。GDP 也是一个流量概念，其衡量了一个国家或地区在一定时期内生产的全部最终产品或服务的市场价值。两者的不同之处在于，GDP 所衡量的产品或服务是由人造资本、社会资本、人力资本和自然资本共同创造的[14]，并且通过各种市场进行交易；而荒漠生态系统服务则是由荒漠生态系统这种生态资产所单独提供的，且通常难以通过市场进行交易。将荒漠生态系统服务价值货币化，使其与 GDP 变得可比，前者反映了荒漠生态系统的质量与保护状况，后者则反映了对荒漠生态系统的开发利用程度。本文使用荒漠生态系统服务价值与 GDP 的比值来衡量荒漠地区生态保护与经济增长的发展均衡程度，为表述方便称之为发展均衡指数。

*荒漠生态系统的保护与开发利用程度存在明显的地区性差异。*荒漠生态系统的地理范围涉及 12 个省份，涵盖新疆全境，内蒙古、西藏、青海、甘肃、宁夏的绝大部分，而其他 6 个省份只有小部分位于荒漠生态系统范围内（图 1）。2014 年全国荒漠生态系统服务价值与这 12 个省份 GDP 总和的比值为 0.27（图 2）。分地区来看，2014 年西藏和新疆的发展均衡指数大于 1，分别为 5.69 和 1.35，表明其荒漠生态系统具有进一步开发利用的潜力；内蒙古和甘肃的发展均衡指数接近于 1，分别为 0.82 和 0.78，表明其荒漠生态系统的保护与开发利用相对均衡；青海和宁夏的发展均衡指数较低，分别为 0.38 和 0.20，表明其荒漠生态系统需要进一步加强保护与修复。其他 6 个省份的发展均衡指数都很低，主要是因为在这些省份荒漠生态系统面积只占到其行政区划面积的较小比重，荒漠并不是其主要的生态系统类型，需要结合森林、湿地等其他生态系统的服务价值评估来综合评判生态保护与经济增长的均衡程度。

*荒漠生态系统提质增效与经济增长的不均衡程度在扩大。*2009—2014 年，全国荒漠生态系统服务价值实际增加了 3.2%，年均增速仅为 0.6%，原因主要在于虽然我国荒漠化与沙化面积双缩减、程度双减轻[19]，但是面积减少与程度减轻的幅度均较小。同时，同期荒漠生态系统涉及的 12 省份的 GDP 实际增加了 53.3%，实际 GDP 年均增速高达 8.9%，因此荒漠生态系统服务价值占 12 省区 GDP 的比重平均从 36.6% 下降到 26.9%，各省份降幅从 19.4% 到 38.8% 不等。这表明，虽然荒漠生态系统功能质量在提升、服务效益在增加，实现了生态保护与开发利用的双增长，但是荒漠生态系统的改善仍然落后于区域经济的快速增长。伴随着荒漠地区经济发展水平的提升、居民生态环境保护意识的提高，以及生态系统产品与服务变得更为稀缺，人们对荒漠生态系统服务的需求将日益增加，将愿意为荒漠生态系统服务支付更高的价格。与此同时，随着经济总量的扩大、经济增速的放缓，荒漠生态系统提升的速度势必将赶超经济增速，从而达到荒漠生态系统提质增效与经济增长的高度均衡发展，实

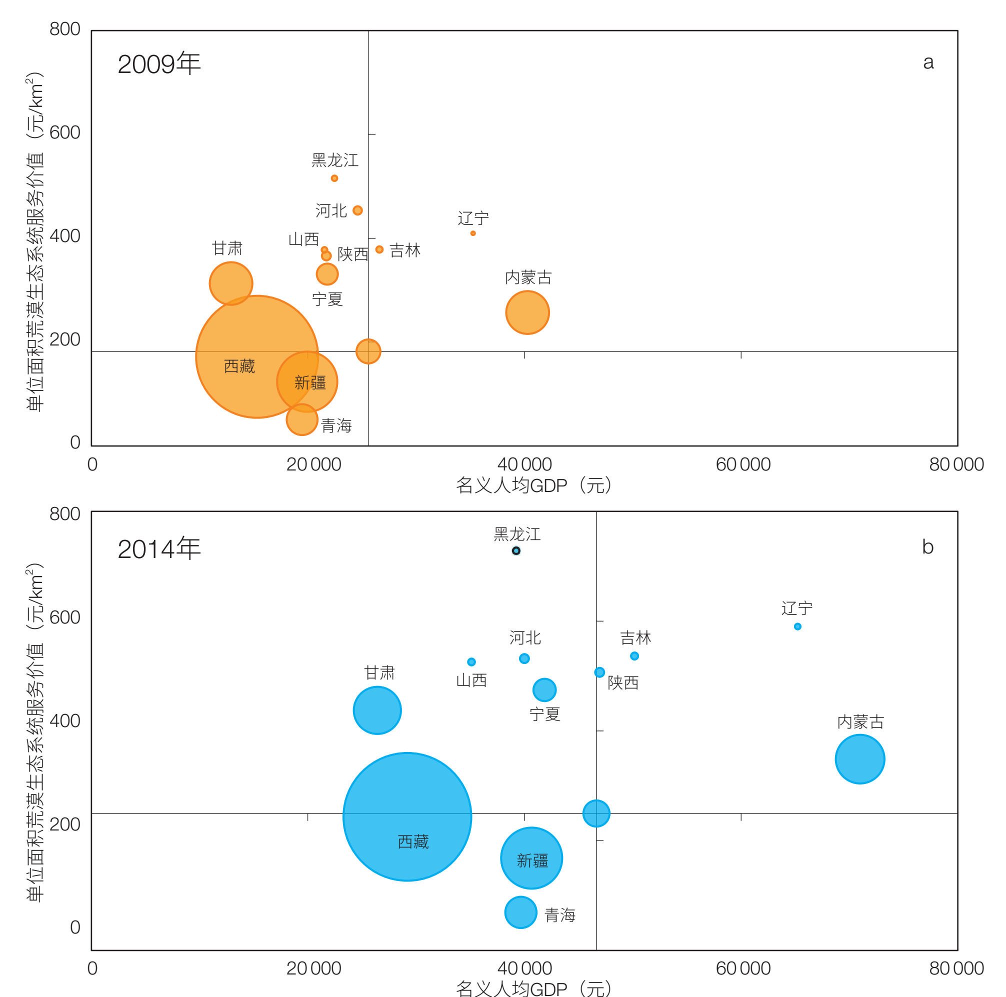


图 2　2009 年（a）和 2014 年（b）我国 12 个省份荒漠生态保护与经济增长的均衡度

气泡大小表示荒漠生态系统服务价值与 GDP 的比值，即发展均衡指数；横纵坐标轴交叉处的气泡是整个荒漠生态系统的平均水平，2009 年该比值为 0.366，2014 年下降为 0.269

现荒漠生态系统质量的整体改善和生态产品供给能力的全面增强。

4 结语

荒漠是我国干旱半干旱地区的典型生态系统，具有降水稀少、气候干燥、风大沙多、温差大、植被稀疏的特点，在防风固沙、水文调控、土壤保育、固碳等方面提供着重要的生态服务。2009 年我国荒漠生态系统服务的总价值为 30 840 亿元人民币（2009 年价格）。本文参照《荒漠生态系统服务评估规范》，利用第五次全国荒漠化和沙化监测数据（2010—2014 年），更新估算出 2014 年我国荒漠生态系统服务的总价值为 42 279 亿元人民币（2014 年价格）。从服务类型来看，防风固沙是最为重要的生态服务，其价值占到 40%；水文调控服务也较为重要，其价值约占 1/4。分地区来看，内蒙古和新疆各约占总价值的 1/3，甘肃和西藏分别占到总值 1/8。2009—2014 年我国荒漠生态系统服务价值实际增加了 1 202 亿元人民币（2014 年价格），其中接近一半由防风固沙服务效益的提升所贡献。2009—2014 年荒漠生态系统服务价值与 GDP 的比值在涉及的 12 个省份都有所下降，降幅从 19.4% 到 38.8% 不等，表明当前荒漠生态系统功能提升与服务增效的速度慢于区域经济增速。因此，在发展经济的同时需要加大荒漠生态系统的保护与修复力度，促进荒漠生态系统提质增效与经济增长更均衡地发展，以实现荒漠地区的可持续发展。

更为深入的研究需要从理论上深入分析荒漠生态系统的功能提供各种生态服务的过程，辨识各种生态服务之间的协同-权衡关系，完善荒漠生态系统功能与服务的评估体系，优化评估方法与参数，并且利用历次全国荒漠化和沙化监测数据及荒漠生态站长期监测数据，开展全国荒漠生态系统功能与服务的连续定量评估，准确量化评价全国荒漠生态系统的功能提升与服务增效成果。在荒漠生态系统服务评估的基础上，

还需要针对沙地、沙漠和戈壁等主要荒漠生态系统类型，构建荒漠生态资产核算体系，把荒漠生态资产核算与国民经济核算体系相对接，编制荒漠生态资产核算账户与资产负债表，从而为荒漠生态系统质量的整体改善和生态产品供给能力的全面增强提供科学决策依据。

参考文献

1 Safriel U, Adeel Z, Niemeijer D, et al. Dryland systems//Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. Washington DC: Island Press, 2005: 623-662.

2 卢琦, 郭浩, 吴波, 等. 荒漠生态系统功能评估与服务价值研究. 北京: 科学出版社, 2016.

3 Costanza R, d'Arge R C, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253-260.

4 Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Washington DC: Island Press, 2005.

5 Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997.

6 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.

7 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.

8 张永利. 中国森林生态系统服务功能研究. 北京: 科学出版社, 2010.

9 Turner R K, Georgiou S, Fisher B. Valuing Ecosystem Services: The Case of Multi-functional Wetlands. London: Earthscan, 2008.

10 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价. 生态学报, 2004, 24(6): 1101-1110.

11 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.

12 欧阳志云, 靳乐山. 面向生态补偿的生态系统生产总值（GEP）和生态资产核算. 北京: 科学出版社, 2018.

13 程磊磊, 郭浩, 卢琦. 荒漠生态系统服务价值评估研究进展. 中国沙漠, 2013, 33(1): 281-287.

14 Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 2014, (26): 152-158.

15 卢琦, 郭浩, 崔向慧, 等. 荒漠生态系统服务评估规范（LY/T2006-2012）. 北京: 国家林业局, 2012.

16 程磊磊, 郭浩, 吴波, 等. 荒漠生态系统功能及服务的评估体系与方法. 绿洲农业科学与工程, 2016, 2(1): 12-18.

17 Bao Y S, Cheng L L, Lu Q. Assessment of desert ecological assets and countermeasures for ecological compensation. Journal of Resources and Ecology, 2019, 10(1): 56-62.

18 肖生春, 肖洪浪, 卢琦, 等. 中国沙漠（地）生态系统水文调控功能及其服务价值评估. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1568-1576.

19 卢琦, 万志红, 程磊磊. 人类，你对荒漠知多少？ 生态文明世界, 2015, (3): 34-43.

20 屠志方, 李梦先, 孙涛. 第五次全国荒漠化和沙化监测结果及分析. 林业资源管理, 2016, (1): 1-5.

China’s Desert Ecosystem: Functions Rising and Services Enhancing

CHENG Leilei[1*] QUE Xiao’e[1] YANG Liu[1] YAO Xueling[1] LU Qi[1,2*]

（1 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2 Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Bayannur 015200, China）

Abstract Desert is the typical original ecosystem in arid and semi-arid zones of China and is characterized by its unique structure, functions and services. This study, based on the national forestry standard *Assessment Criteria of Desert Ecosystem Services in China* and the fifth National Desertification and Sandification Monitoring data, first estimated the total value of China’s desert ecosystem services in 2014 to be 4227.9 billion CNY (in 2014 prices), of which, wind break and sand fixation, hydrological regulation, soil conservation, and carbon sequestration consisted of 40.1%, 24.2%, 18.1% and 17.0%, respectively, and biodiversity conservation and landscape recreation together accounted for less than 1%. By eliminating the impacts of price change, the real value of China’s desert ecosystem services was increased by 120.2 billion CNY (in 2014 prices) from 2009 to 2014, of which improvement in wind break and sand fixation service contributed the most (by 47.5%). We tried to measure the equilibrium degree of ecological protection and economic growth by the ratio of ecosystem service value to GDP. The ratios of the provincial regions wholly or partly covered by desert ecosystem all decreased during 2009 and 2014, with a decrease range between 19.4% and 38.8%, which indicates that the speed of desert ecosystem function raising and service enhancement was slower than regional economic growth. The protection and rehabilitation of desert ecosystem needs to be accelerated along with economic growth, thus a higher equilibrium degree of economic growth and function raising and service enhancement of desert ecosystem can be achieved in the northwestern arid and semi-arid regions in China.

Keywords desert, ecosystem, ecosystem service, function assessment, valuation, enhancement



程磊磊 中国林业科学研究院荒漠化研究所副研究员。主要研究领域包括：荒漠生态系统服务与资产评估，荒漠化防治政策，以及土地退化经济学。主持及参与国家重点研发计划、国家自然科学基金等多项课题，为科学技术部、国家林业与草原局等政府决策部门和联合国防治荒漠化公约（UNCCD）、联合国欧洲经济委员会（UNECE）等国际机构提供决策咨询多次。发表论文20余篇。E-mail: chengleilei@caf.ac.cn

CHENG Leilei Associate Professor at Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry. His research area focuses mainly on desert ecosystem service and asset valuation, desertification combating policy, and economics of land degradation. He has been participating as principal investigator or core member in several projects of the National Key R&D Program of China and the National Natural Science Foundations of China. He also has provided consultancy to the Ministry of Science and Technology, the National Forestry and Grassland Administration, UNCCD, and UNECE. He has more than 20 articles published. E-mail: chengleilei@caf.ac.cn

* Corresponding author



卢 琦　中国林业科学研究院荒漠化研究所所长、沙漠林业实验中心主任，研究员、博士生导师。长期从事荒漠化防治、干旱区生态系统管理及相关战略与政策等研究。主持科研课题50多项，发表论（译）文180余篇，主编或参编著（译）作20余部；获得国家级科技奖励4项、省部级科技奖励5项。牵头组织“库姆塔格沙漠综合科学考察”，填补了我国沙漠科考的最后空白。主要兼职：西南林业大学石漠化研究院院长、国家荒漠-草地野外生态观测研究站联盟共同主席，国家林业与草原局第六届科技委常委、第一届草原标准化技术委员会委员，全国防沙治沙标准化技术委员会秘书长等，《中国沙漠》《生态学报》《自然资源学报》《中国水土保持科学》《林业科学研究》和*Journal of Resources and Ecology*等编委。
E-mail: luqi@caf.ac.cn

LU Qi　Professor and Directors of Institute of Desertification Studies and Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Doctoral Supervisor. His research interests focus on desertification control, ecosystem management in arid zones, macro-strategies and policies. He has been leading and co-leading more than 50 scientific research projects, published more than 180 peer-reviewed papers, over 20 books, and received 4 national scientific and technological awards and 5 provincial and ministerial level awards. The first key project of the national basic work program, “Comprehensive Scientific Investigation of the Kumtag Desert”, has filled the last blank of the desert scientific investigation in China. He used to serve as President of Rocky Desertification Research Institute under Southwest Forestry University, and now is a Co-Chair of the National Union of Deserts and Grassland Ecological Observation and Research Stations, member of the sixth CST Standing Committee of the National Forestry and Grassland Administration, member of the First Grassland Standardization Technical Committee, Secretary-General of the National Sand Control and Desertification Standardization Technical Committee, member of the Third Expert Committee of the National Disaster Reduction Commission, etc. and the editorial board of many journals such as *Journal of Desert Research, Acta Ecologica Sinica*, *Journal of Natural Resources*, *Science of Soil and Water Conservation*, *Forest Research* and *Journal of Resources and Ecology*.
E-mail: luqi@caf.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

参考文献（双语版）

1 Safriel U, Adeel Z, Niemeijer D, et al. Dryland systems// Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. Washington DC: Island Press, 2005: 623-662.

2 卢琦, 郭浩, 吴波, 等. 荒漠生态系统功能评估与服务价值研究. 北京: 科学出版社, 2016.
Lu Q, Guo H, Wu B, et al. Function Evaluation and Service Value of Desert Ecosystem. Beijing: Science Press, 2016. (in Chinese)

3 Costanza R, d'Arge R C, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253-260.

4 Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Washington DC: Island Press, 2005.

5 Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997.

6 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
Li W H. Evaluation of Ecosystem Services: Theory, Method and Application. Beijing: China Renmin University Press, 2008. (in Chinese)

7 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 607-613. (in Chinese)

8 张永利. 中国森林生态系统服务功能研究. 北京: 科学出版社, 2010.
Zhang Y L. Services of Forest Ecosystems in China. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)

9 Turner R K, Georgiou S, Fisher B. Valuing Ecosystem Services: The Case of Multi-functional Wetlands. London: Earthscan, 2008.

10 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价. 生态学报, 2004, 24(6): 1101-1110.
Zhao T Q, Ouyang Z Y, Jia L Q, et al. Ecosystem services and their valuation of China grassland. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(6): 1101-1110. (in Chinese)

11 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
Xie G D, Zhang C X, Zhang C S, et al. The value of ecosystem services in China. Resources Science, 2015, 37(9): 1740-1746. (in Chinese)

12 欧阳志云, 靳乐山. 面向生态补偿的生态系统生产总值（GEP）和生态资产核算. 北京: 科学出版社, 2018.
Ouyang Z Y, Jin L S. Developing Gross Ecosystem Product (GEP) and Ecological Asset Accounting for Eco-compensation. Beijing: Science Press, 2018. (in Chinese)

13 程磊磊, 郭浩, 卢琦. 荒漠生态系统服务价值评估研究进展. 中国沙漠, 2013, 33(1): 281-287.
Cheng L L, Guo H, Lu Q. Review on the valuation of desert ecosystem service values. Journal of Desert Research, 2013, 33(1): 281-287. (in Chinese)

14 Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 2014, (26): 152-158.

15 卢琦, 郭浩, 崔向慧, 等. 荒漠生态系统服务评估规范（LY/T2006-2012）. 北京: 国家林业局, 2012.
Lu Q, Guo H, Cui X H, et al. Assessment Criteria of Desert Ecosystem Services in China (LY/T 2006-2012). Beijing: State Forestry Administration, 2012. (in Chinese)

16 程磊磊, 郭浩, 吴波, 等. 荒漠生态系统功能及服务的评估体系与方法. 绿洲农业科学与工程, 2016, 2(1): 12-18.
Cheng L L, Guo H, Wu B, et al. Evaluation framework and

methods for assessing desert ecosystem functions and services. Oasis Agriculture Science and Engineering, 2016, 2(1): 12-18. (in Chinese)

17 Bao Y S, Cheng L L, Lu Q. Assessment of desert ecological assets and countermeasures for ecological compensation. Journal of Resources and Ecology, 2019, 10(1): 56-62.

18 肖生春, 肖洪浪, 卢琦, 等. 中国沙漠（地）生态系统水文调控功能及其服务价值评估. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1568-1576.

Xiao S C, Xiao H L, Lu Q, et al. Evaluation on China desert and sandy land ecosystem services based on its related water process and regulating functions. Journal of Desert Research, 2013, 33(5): 1568-1576. (in Chinese)

19 卢琦, 万志红, 程磊磊. 人类，你对荒漠知多少？. 生态文明世界, 2015, (3): 34-43.

Lu Q, Wan Z H, Cheng L L. How much do you know about deserts?. Ecological Civilization World, 2015, (3): 34-43. (in Chinese)

20 屠志方, 李梦先, 孙涛. 第五次全国荒漠化和沙化监测结果及分析. 林业资源管理, 2016, (1): 1-5.

Tu Z F, Li M X, Sun T. The status and trend analysis of desertification and sandification. Forest Resources Management, 2016, (1): 1-5. (in Chinese)